

GIS 내 금속입자의 부상전압과 부분방전특성 연구

윤진열* · 한상옥**

*한전 전력연구원, **충남대학교 전기공학과

Lift-Off Voltage and Partial Discharge Characteristics of Free Conducting Particles in GIS

Jin Yeol, Yoon, Sang Ok, Han

Korea Electric Power Research Institute, Chung Nam National University

Abstract - Gas Insulated Switchgear(GIS) acts as an indispensable part in power transmission network.

In order that GIS may have its high reliability, it is necessary to pay careful attention to its whole process e.g., designing, manufacturing, installation, and operation.

The main hazard in GIS comes from free conducting particles, which can move and cause breakdown under the influence of the electric field. Although the concentration on protecting the GIS inner part against the free conducting particles is made, it is, actually, almost impossible to avoid the hazard from the particles throughly.

In this paper, using the EHV test chamber, partial discharge quantity in GIS was measured when free conducting particles initiate to discharge for providing fundamental data for the purpose of developing predictive diagnosis technology on site GIS.

1. 서론

GIS는 기기신뢰도는 높으나 내부고장 발생시 피해가 광범위하고 복구에도 수일이 소요되는 등, 고장에 의한 파급효과가 매우 크다. 또한, 운전전압이 765 kV 등 초고압 설비일 경우 또는 대용량 발전소의 경우 그 영향은 더욱 확대될 수 밖에 없다. 이에 대한 대응방법으로 예비설비를 확보하는 방안도 있으나 이 경우 시설 투자비의 과다부담 문제가 수반되기 때문에 바람직한 대처방안이라 하기는 어렵다. 근래에 와서는 내부이상을 사전에 인지하기 위한 예방진단설비를 추가하는 방향으로 진행되는 추세에 있다. 이렇게 할 경우 기기 내부에서 진행 중인 결함을 운전자가 발견하여 사전조치 또는 계획보수를 가능하게 하므로써 불시정전을 예방하고 소요비용도 대폭 감소시킬 수 있는 큰 이점이 있다. 이러한 이점 때문에 국내에서도 2000년에 최초 운전개시 예정인 765 kV 변전소에 On-Line 예방진단설비를 갖출 것을 계획하고 있다.

GIS에서 발생하는 전기적 고장요인중 가장 큰 비중을 차지하는 것이 도전성입자이다[1,2]. 그 외 요인으로는 도체표면 돌기부에 의한 코로나방전, 접속불량 도전부에 의한 방전 등이다. 이들 결함이 갖는 공통적 특징은 완전한 절연파괴로 이어지기 전에 대부분 부분방전의 과정을 거치게 된다[3]. 도전성입자가 GIS 외함(Enclosure) 내에서 전계 하에 놓여지게 되면 정전력을 받게되고, 정착력 등, 기타 작용력을 무시했을 경우, 이 정전력이 중력에 의한 힘보다 크게 되면, 입자는 외함 바닥으로부터 부상(Lift off)을 하게 된다. 가해진 전계가 계속 증가할 경우 입자는 Hovering 또는 Crossing의 과정을 거쳐 절연파괴로 진행하게 된다[4]. 이 과정에서 입자에 의해 발생하는 부분방전 현상을 기기 운전자가 인지하게 될 경우 사전조치를 취하므로써 절연파괴로 진행되는 것을 예방할 수 있다.

본 논문에서는 초고압 실규모 크기의 GIS 실험설비를 통하여 Wire형 금속입자의 부분방전 개시특성을 규명함으로써 현장 GIS 내부고장의 가장 큰 원인인 금속입자에 대한 최적의 진단방안을 구하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치 및 구성

본 연구를 위해서 GIS의 실규모에 가까운 크기의 실험용 챔버(Chamber)를 사용하였고, 이때 구성된 실험설비는 그림 1과 같다.

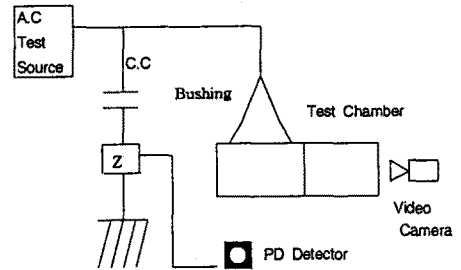


그림 1. 실험장치도

실험설비를 구성하는 각 요소별 사양은 다음과 같다. 실험용 챔버 내의 도체에 전압을 가하기 위한 전원은 Mitsubishi제 정격 1,100 [kV], 2,200 [KVA]이며, 커플링 콘덴서(Coupling Condenser)는 Mitsubishi제 KP Type 정격 1,100 [kV AC], 1,000 [pF]를 사용하였다. 실험용 챔버 내 입자(Particle)의 거동을 관찰하기 위해 비디오 카메라(Video Camera, LG전자 LC-V909 Model)를 사용하였으며, PD 신호측정을 위한 Detector는 Haefely 제품 TE 571 형식을 사용하였으며 이 측정기의 사양은 PD Measurement Display 0-999 [pC/nC], Band Width 40-400 [KHz], Test-Voltage Frequency Range 40-200 [Hz]이다. PD 신호입력 매칭용인 Coupling Quadripole은 Haefely제품 AKV 572를 사용하였고 Setting치는 2,000 [mA], 1~2 [nF]로 하였다.

Test Chamber 전체적인 규모는 800 [kV]급 GIS 크기로서 구조는 그림 1, 2에서 보는바 같이 Chamber 내에 전원입일을 위한 붓심부와 도체연결부, 그리고 입자의 실험을 행할 수 있는 원통형 동축전극으로 구성되어 있다. 전극 내부구조는 중앙부에 AL 내부도체가 있고 이 도체와 외함 사이에는 중간전극으로 동축원통형 Al접지전극을 배치하였다. 중간전극은 취부와 분리를 자유롭게 할 수 있는 구조이며, 따라서, 다양한 크기의 접지전극으로 실험이 가능한 구조이다.

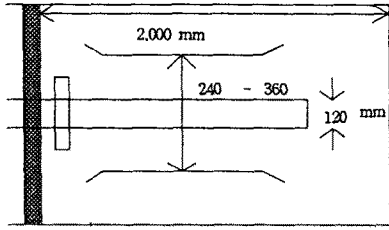


그림 2. 실험용 챔버 전극부의 구조도

스페이서와 인접하여 스페이서 보호용 실드를 배치하였고 Chamber 내부에서 일어나는 각종현상을 관찰하기 위해 Chamber 윗면 및 측면에 전부 6개의 관측창이 배치된 구조이다.

2.2 실험방법

동축원통 전극 구조를 갖는 GIS 내에 도전성 금속입자를 넣고 SF6 개스의 압력변화에 따른 금속입자의 부분방전 개시시의 방전량을 측정하기 위해 압력 3, 4, 5 [kg/cm^2] 각각에 있어서 Al Wire형 입자 0.8 [$\text{mm}\phi$] 길이 5, 10, 15 [mm] 3종류를 각 10개씩 사용하였다. 전압의 상승에 따라 입자에 의한 부분방전 개시시의 거동을 관측하기 위해 관측창을 통해 비디오 카메라로 촬영하였다.

3. 실험결과

금속입자가 GIS내부에 존재할 때 이들의 거동현상을 관찰하고 이때의 부분방전 특성을 구하기 위하여 GIS내부를 비디오 카메라를 이용하여 금속입자의 부상모습을 보아가며 부분방전측정기로 부분방전량을 측정하였고 이때 관찰되는 입자의 부상모습은 그림 3과 같다.



그림3. 15[mm] Particle의 부상모습
Fig.3 Video image of 15mm particles at lift off.

금속입자 3가지 종류(Al, 8 [$\text{mm}\phi$], 5[mm], 10[mm], 15[mm])에 의한 초기 부분방전량 측정결과는 그림 4, 5, 6과 같다.

그림 4는 입자의 길이가 5[mm]인 경우의 가스압력에 대한 부분방전량이며, 압력이 3 [kg/cm^2]에서 4 [kg/cm^2]으로 증가할 때 부분방전량이 약간 증가하였으며, 4 [kg/cm^2]에서 5 [kg/cm^2]으로 증가할 때는 거의 같은 값을 유지하였다.

그림 5는 입자의 길이가 10 [mm]인 경우의 가스압력에 대한 부분방전량이며 그림 4와 비슷한 결과를 얻었고, 부분방전량이 그림 4의 경우에 비하여 약간 큰 값을 나타내고 있다.

그림 6은 입자의 길이가 15[mm]인 경우의 가스압력

에 대한 부분방전량이며, 그림 4 및 그림 5와는 달리 부분방전량의 크기가 2가지의 군으로 나뉘어 나타나고 있으며, 적은 부분의 크기는 그림 5 결과의 크기와 같지만, 큰 부분방전량이 나타나는 것은 117 - 168[pC] 이다.

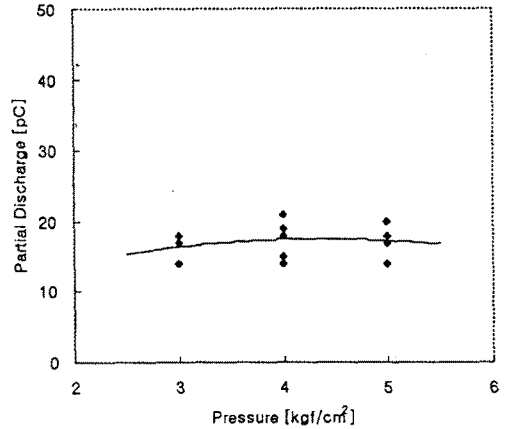


그림4. 가스압력 변화에 의한 Particle의 부분방전량 (0.8[mmφ], L=5[mm], Al)
Fig.4 PD quantity of particle with gas pressure

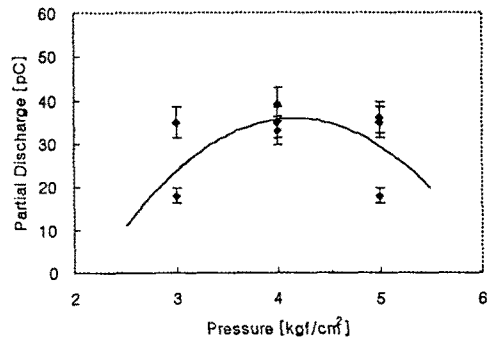


그림5. 가스압력 변화에 의한 Particle의 부분방전량 (0.8[mmφ], L=10[mm], Al)
Fig.5 PD quantity of particle with gas pressure

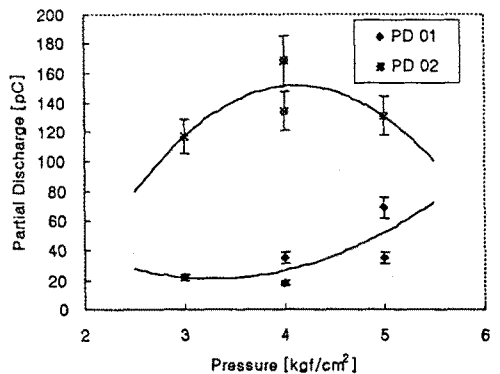


그림6. 가스압력 변화에 의한 Particle의 부분방전량 (0.8[mmφ], L=15[mm], Al)
Fig.6 PD quantity of particle with gas pressure

4. 실험결과 고찰

입자 길이별 압력에 대한 부분방전량 특성에서 압력이 증가함에 따라 부분방전량이 약간 증가하였고, 그림 6 결과에서 부분방전량이 두영역으로 나뉘어 나타나고 있다. 입자가 누운 상태에서 충전 전하량은 식(1)와 같이 보고되고 있다.[5]

$$q = 2\pi \epsilon_0 \gamma l_0 E \quad (1)$$

여기서 l_0 는 입자길이[m], E 는 입자 위치에서 전기장도 [V/m], r 은 입자의 반경[m]이고, ϵ_0 는 유전율이다. 식(1)에 의해서 입자에 충전되는 전하량은 입자 5[mm], 10[mm] 및 15[mm] 경우에 인가전압을 150[kV]로 계산하면 충전량은 119[pC] 238[pC] 및 357[pC]이고, 다른 문헌의 결과에 따르면 부분방전량의 발생이 10 - 수백[pC] 정도인 것으로 보고되고 있다.[6,7] 본 실험에서는 GIS가 운전중인 상태에서 부분방전 측정을 위하여 입자의 크기에 따른 부분방전 개시전압과 그때의 부분방전량 및 입자의 부상에 대해 집중적으로 실험을 하였다.

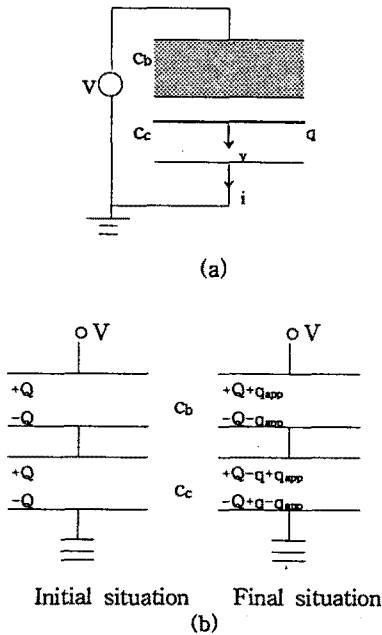


그림 7. Capacitor 회로를 이용한 전하의 이동에 따른 방전전류 해석

(a) 회로개념도 (b) 등가회로

Fig.7 (a) Capacitor partially filled with solid dielectric
(b) Capacitance representation used to determine the apparent charge

입자에 의한 부분방전량의 발생에 대하여 이론적으로 고찰하면 그림 7과 같이 나타낼 수 있으며, 이들을 수식으로 풀이하면 다음 식 (2)와 같이 보고되고 있다.[8]

$$q_{app} = q \cdot C_b / (C_b + C_c) \quad (2)$$

q_{app} : 겉보기 방전전하, q : 진 방전전하, C_b : 입자와 인가도체사이의 정전용량, C_c : 입자와 탱크와의 정전용량

위의 식에 따르면 입자의 부상시 탱크 표면과의 입자 그리고 도체와 입자사이의 정전용량과 방전시 방전량에 의해서 부분방전량이 결정된다고 생각된다. 따라서 입자의 길이가 짧은 경우는 입자가 부상을 하더라도 정전용량과 방전량의 변화가 적게 일어나고 입자의 길이가 15[mm]로 길어지게 되면 입자의 부상에 따라 정전용량과 방전

량의 변화가 크게 발생하여 방전량은 이중의 상태로 존재하는 것으로 생각된다.

따라서, 여러 연구자의 결과도 부분방전량이 일정하지 않는 경우는 이와 같이 부상시 입자에서 만들어지는 도체와 탱크사이의 정전용량과 방전시 방전량이 실험의 상태에 따라 달라지기 때문인 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 논문에서는 현장GIS 규모 내에 도전성입자가 혼입되었을 경우를 상정하여 예방진단 측면에서 도전성입자의 거동 및 부분방전 특성을 고찰하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도전성입자가 GIS 내에 존재할 경우 이를 진단하기 위해서는 최소 10 [pC] 정도의 방전량을 검출할 수 있는 진단기술이 필요하다.

2. 운전중인 GIS로부터 도전성입자에 의한 부분방전이 검출될 경우 입자가 기립상태에 있을 가능성이 크므로 집중적인 감시관리 및 사전대책 수립이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] N. Fujimoto and G.L.Ford, "Results of Recent GIS Fault Survey", IERE Workshop on Gas Insulated Substations, Toronto, Sept. 1990.
- [2] D. Kopejtkova, T.Molony, S. Kobayashi and I. M. Welch, "A Twenty-five Year Review of Experience with Gas-insulated Substations", CIGRE Paper 23-101, Paris, 1992.
- [3] J. S. Pearson, O. Farish, B. F. Hampton, and I. M. Welch, "Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations", IEEE Trans.,1995, DEI-2,(5),pp893-905.
- [4] A.G. Sellars, O. Farish, and B. F. Hampton, "Assessing the Risk of Failure due to Particle Contamination of GIS using the UHF Technique", IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 1, No.2, pp.323-331,1994.
- [5] A. H. Cookson, P. C. Bolin, H. C. Doepken,Jr, "Recent Research in the United States on the Effect of Particle Contamination Reducing the Breakdown Voltage in the Compressed Gas-Insulated Systems." CIGRE, Paper 15-09, 1976.
- [6] 岡部成光, 財満英一, 山極時生, 石川敏雄, "GIS内金屬異物の部分放電特性と診断技術" Trans. IEE of Japan, Vol.115 B, No 10, pp1221-1227, Oct., 1995
- [7] M. M. Morcos, H. Anis, K. D. Srivastava, "Particle-initiated Corona and Breakdown in GITL Systems", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol24 No.4, pp561-571, Aug. 1989
- [8] J. M. Wetzter, P. van der Laan, "Prebreakdown Currents", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol.24, No.2, pp297-308, April 1989